

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-171174

(43)Date of publication of application : 14.06.2002

(51)Int.Cl.

H03M 13/27
H04L 1/00

(21)Application number : 2000-368998

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 04.12.2000

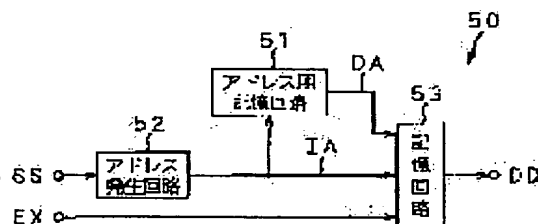
(72)Inventor : YOKOGAWA MINESHI
MIYAUCHI TOSHIYUKI

(54) INTERLEAVE DEVICE AND INTERLEAVE METHOD AND DECODING DEVICE AND DECODING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce the scale of a circuit in an interleaver to be used for repeated decoding at the time of time-division multiplication.

SOLUTION: An interleaver 50 in a decoder is provided with a storage circuit 53 for storing data, and an address generating circuit 52 for generating address data for writing data in this storage circuit 53 and address data for reading data from the storage circuit 53. This address generating circuit 52 shares a counter for generating the address data for writing and a counter for generating address data for reading, and the reading of data from the storage circuit 53 and the writing of data in the storage circuit 53 are simultaneously started.



インターリーブの構成ブロック図

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-171174
(P2002-171174A)

(43) 公開日 平成14年6月14日 (2002.6.14)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 3 M 13/27		H 0 3 M 13/27	5 J 0 6 5
H 0 4 L 1/00		H 0 4 L 1/00	B 5 K 0 1 4

審査請求 未請求 請求項の数23 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2000-368998 (P2000-368998)

(22) 出願日 平成12年12月4日 (2000.12.4)

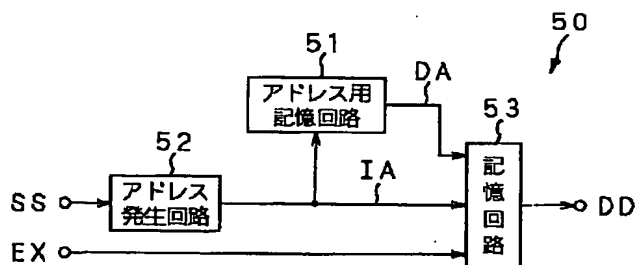
(71) 出願人 000002185
ソニー株式会社
東京都品川区北品川6丁目7番35号
(72) 発明者 横川 峰志
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
ー株式会社内
(72) 発明者 宮内 俊之
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
ー株式会社内
(74) 代理人 100067736
弁理士 小池 晃 (外2名)
Fターム(参考) 5J065 AA01 AC01 AD10 AF03 AG06
AH06 AH22
5K014 AA01 BA10 FA16

(54) 【発明の名称】 インターリーブ装置及びインターリーブ方法、並びに、復号装置及び復号方法

(57) 【要約】

【課題】 時分割多重での繰り返し復号に用いるインタ
ーリーブにおける回路規模を削減する。

【解決手段】 復号装置におけるインターリーブ50
は、データを記憶する記憶回路53の他に、この記憶回
路53に対するデータの書き込み用のアドレスデー
タと、記憶回路53からのデータの読み出し用のアドレ
スデータとを発生するアドレス発生回路52を備える。ア
ドレス発生回路52は、書き込み用のアドレスデータを
発生するためのカウンタと、読み出し用のアドレスデ
ータを発生するためのカウンタとを共用し、記憶回路53
からのデータの読み出しと、記憶回路53に対するデー
タの書き込みとを同時に開始する。



インターリーブの構成ブロック図

【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の要素符号をインターリーブを介して接続して生成された符号を時分割多重で繰り返し復号するために用いるインターリーブ装置であって、データを記憶する記憶手段と、上記記憶手段に対するデータの書き込み用のアドレスデータと、上記記憶手段からのデータの読み出し用のアドレスデータとを発生するアドレス発生手段とを備え、上記アドレス発生手段は、上記書き込み用のアドレスデータを発生するためのカウンタと、上記読み出し用のアドレスデータを発生するためのカウンタとを共用することを特徴とするインターリーブ装置。

【請求項2】 上記アドレス発生手段は、入力される情報のフレームの先頭を示すフレーム先頭情報が入力されると、上記カウンタを動作させ、上記記憶手段からのデータの読み出しを行うとともに、上記記憶手段に対するデータの書き込みを行うことを特徴とする請求項1記載のインターリーブ装置。

【請求項3】 上記アドレス発生手段は、上記カウンタを動作させ、シーケンシャルなアドレスデータを発生することを特徴とする請求項1記載のインターリーブ装置。

【請求項4】 置換先のアドレスデータを保持するアドレス用記憶手段を備え、上記アドレス用記憶手段に保持されているアドレスデータは、当該アドレス用記憶手段のアドレスが上記アドレス発生手段から供給されるシーケンシャルなアドレスデータとして指定され、ランダムなアドレスデータとして読み出されることを特徴とする請求項3記載のインターリーブ装置。

【請求項5】 上記インターリーブと同一の置換位置情報に基づいて、入力されるデータの順序を置換して並べ替えることを特徴とする請求項1記載のインターリーブ装置。

【請求項6】 上記インターリーブによって並べ替えられた情報の配列を元に戻すように、入力されるデータの順序を置換して並べ替えることを特徴とする請求項1記載のインターリーブ装置。

【請求項7】 複数の要素符号をインターリーブ工程を介して接続して生成された符号を時分割多重で繰り返し復号するために用いるインターリーブ方法であって、データを記憶する記憶手段に対するデータの書き込み用のアドレスデータと、上記記憶手段からのデータの読み出し用のアドレスデータとを発生するアドレス発生工程と、上記アドレス発生工程にて発生されたアドレスデータに基づいて、上記記憶手段に対するデータの書き込み又は読み出しを行う記憶工程とを備え、上記アドレス発生工程では、上記書き込み用のアドレスデータを発生するためのカウンタと、上記読み出し用の

アドレスデータを発生するためのカウンタとを共用することを特徴とするインターリーブ方法。

【請求項8】 上記アドレス発生工程では、入力される情報のフレームの先頭を示すフレーム先頭情報が入力されると、上記カウンタを動作させ、上記記憶手段からのデータの読み出しが行われるとともに、上記記憶手段に対するデータの書き込みが行われることを特徴とする請求項7記載のインターリーブ方法。

【請求項9】 上記アドレス発生工程では、上記カウンタを動作させ、シーケンシャルなアドレスデータが発生されることを特徴とする請求項7記載のインターリーブ方法。

【請求項10】 置換先のアドレスデータを保持するアドレス用記憶手段に保持されているアドレスデータは、当該アドレス用記憶手段のアドレスが上記アドレス発生工程にて発生されたシーケンシャルなアドレスデータとして指定され、ランダムなアドレスデータとして読み出されることを特徴とする請求項9記載のインターリーブ方法。

【請求項11】 軟入力とされる受信値に基づいて任意のステートを通過する確率を求め、上記確率を用いて、複数の要素符号をインターリーブを介して接続して生成された符号を時分割多重で繰り返し復号する復号装置であって、

上記受信値及び事前確率情報を入力して軟出力復号を行い、各時刻における軟出力及び／又は外部情報を生成する軟出力復号手段と、

上記軟出力復号手段によって生成された上記外部情報を入力し、上記インターリーブと同一の置換位置情報に基づいて、上記外部情報の順序を置換して並べ替える、又は、上記インターリーブによって並べ替えられた情報の配列を元に戻すように、上記外部情報の順序を置換して並べ替えるインターリーブ手段とを備え、

上記インターリーブ手段は、

データを記憶する記憶手段と、

上記記憶手段に対するデータの書き込み用のアドレスデータと、上記記憶手段からのデータの読み出し用のアドレスデータとを発生するアドレス発生手段とを有し、上記アドレス発生手段は、上記書き込み用のアドレスデータを発生するためのカウンタと、上記読み出し用のアドレスデータを発生するためのカウンタとを共用することを特徴とする復号装置。

【請求項12】 上記アドレス発生手段は、入力される情報のフレームの先頭を示すフレーム先頭情報が入力されると、上記カウンタを動作させ、上記記憶手段からのデータの読み出しを行うとともに、上記記憶手段に対するデータの書き込みを行うことを特徴とする請求項11記載の復号装置。

【請求項13】 上記アドレス発生手段は、上記カウンタを動作させ、シーケンシャルなアドレスデータを発生

することを特徴とする請求項11記載の復号装置。

【請求項14】 上記インターリーブ手段は、置換先のアドレスデータを保持するアドレス用記憶手段を有し、上記アドレス用記憶手段に保持されているアドレスデータは、当該アドレス用記憶手段のアドレスが上記アドレス発生手段から供給されるシーケンシャルなアドレスデータとして指定され、ランダムなアドレスデータとして読み出されることを特徴とする請求項13記載の復号装置。

【請求項15】 上記インターリーブ手段は、上記インターリーブと同一の置換位置情報に基づいて、入力されるデータの順序を置換して並べ替えることを特徴とする請求項11記載の復号装置。

【請求項16】 上記インターリーブ手段は、上記インターリーブによって並べ替えられた情報の配列を元に戻すように、入力されるデータの順序を置換して並べ替えることを特徴とする請求項11記載の復号装置。

【請求項17】 並列接続符号化、縦列接続符号化、並列接続符号化変調又は縦列接続符号化変調がなされた符号を時分割多重で繰り返し復号することを特徴とする請求項11記載の復号装置。

【請求項18】 上記要素符号は、畳み込み符号であることを特徴とする請求項17記載の復号装置。

【請求項19】 上記軟出力復号手段は、Log-BCH-Rアルゴリズムに基づく最大事後確率復号を行うことを特徴とする請求項11記載の復号装置。

【請求項20】 軟入力とされる受信値に基づいて任意のステートを通過する確率を求め、上記確率を用いて、複数の要素符号を第1のインターリーブ工程を介して接続して生成された符号を時分割多重で繰り返し復号する復号方法であって、

上記受信値及び事前確率情報を入力して軟出力復号を行い、各時刻における軟出力及び／又は外部情報を生成する軟出力復号工程と、

上記軟出力復号工程にて生成された上記外部情報を入力し、上記第1のインターリーブ工程と同一の置換位置情報に基づいて、上記外部情報の順序を置換して並べ替える、又は、上記第1のインターリーブ工程にて並べ替えられた情報の配列を元に戻すように、上記外部情報の順序を置換して並べ替える第2のインターリーブ工程とを備え、

上記第2のインターリーブ工程は、データを記憶する記憶手段に対するデータの書き込み用のアドレスデータと、上記記憶手段からのデータの読み出し用のアドレスデータとを発生するアドレス発生工程と、

上記アドレス発生工程にて発生されたアドレスデータに基づいて、上記記憶手段に対するデータの書き込み又は読み出しを行う記憶工程とを有し、

上記アドレス発生工程では、上記書き込み用のアドレス

データを発生するためのカウンタと、上記読み出し用のアドレスデータを発生するためのカウンタとを共用することを特徴とする復号方法。

【請求項21】 上記アドレス発生工程では、入力される情報のフレームの先頭を示すフレーム先頭情報が入力されると、上記カウンタを動作させ、上記記憶手段からのデータの読み出しが行われるとともに、上記記憶手段に対するデータの書き込みが行われることを特徴とする請求項20記載の復号方法。

【請求項22】 上記アドレス発生工程では、上記カウンタを動作させ、シーケンシャルなアドレスデータが発生されることを特徴とする請求項20記載の復号方法。

【請求項23】 置換先のアドレスデータを保持するアドレス用記憶手段に保持されているアドレスデータは、当該アドレス用記憶手段のアドレスが上記アドレス発生工程にて発生されたシーケンシャルなアドレスデータとして指定され、ランダムなアドレスデータとして読み出されることを特徴とする請求項22記載の復号方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、時分割多重で繰り返し復号するために用いるインターリーブ装置及びインターリーブ方法、並びに、時分割多重で繰り返し復号する復号装置及び復号方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、接続符号における内符号の復号出力や繰り返し復号法における各繰り返し復号動作の出力を軟出力とすることで、シンボル誤り率を小さくする研究がなされており、それに適した復号法に関する研究が盛んに行われている。例えば畳み込み符号等の所定の符号を復号した際のシンボル誤り率を最小にする方法としては、「Bahl, Cocke, Jelinek and Raviv, "Optimal decoding of linear codes for minimizing symbol error rate", IEEE Trans. Inf. Theory, vol. IT-20, p. 284-287, Mar. 1974」に記載されているBCJRアルゴリズムが知られている。このBCJRアルゴリズムにおいては、復号結果として各シンボルを出力するのではなく、各シンボルの尤度を出力する。このような出力は、軟出力(soft-output)と呼ばれる。以下、このBCJRアルゴリズムの内容について説明する。なお、以下の説明では、図8に示すように、ディジタル情報を図示しない送信装置が備える符号化装置101によって畳み込み符号化し、その出力を雑音のある無記憶通信路102を介して図示しない受信装置に入力して、この受信装置が備える復号装置103によって復号し、観測する場合を考える。

【0003】 まず、符号化装置101が備えるシフトレジスタの内容を表すM個のステート(遷移状態)を m ($0, 1, \dots, M-1$) で表し、時刻 t のステートを S_t で表す。また、1タイムスロットに k ビットの情

報が入力されるものとする、時刻 t における入力を $i_t = (i_{t1}, i_{t2}, \dots, i_{tk})$ で表し、入力システムを $I_1^T = (i_1, i_2, \dots, i_T)$ で表す。このとき、ステート m' からステート m への遷移がある場合には、その遷移に対応する情報ビットを $i(m', m) = (i_1(m', m), i_2(m', m), \dots, i_k(m', m))$ で表す。さらに、1タイムスロットに n ビットの符号が出力されるものとする、時刻 t における出力を $x_t = (x_{t1}, x_{t2}, \dots, x_{tn})$ で表し、出力システムを $X_1^T = (x_1, x_2, \dots, x_T)$ で表す。このとき、ステート m' からステ

$$P_i(m|m') = Pr\{S_t = m | S_{t-1} = m'\} \quad (1)$$

【0006】なお、上式(1)における右辺に示す $Pr\{A|B\}$ は、 B が生じた条件の下での A が生じる条件付き確率である。この遷移確率 $P_t(m|m')$ は、次式(2)に示すように、入力 i でステート m' からステ

$$P_i(m|m') = Pr\{i_t = i\} \quad (2)$$

【0008】雑音のある無記憶通信路102は、 X_1^T を入力とし、 Y_1^T を出力する。ここで、1タイムスロットに n ビットの受信値が出力されるものとする、時刻 t における出力を $y_t = (y_{t1}, y_{t2}, \dots, y_{tn})$ で表し、 $Y_1^T = (y_1, y_2, \dots, y_T)$ で表す。雑音のある無記憶通信路102の遷移確

$$Pr\{Y_1^T | X_1^T\} = \prod_{j=1}^T Pr\{y_j | x_j\} \quad (3)$$

【0010】ここで、次式(4)のように λ_{tj} を定義する。この次式(4)に示す λ_{tj} は、 Y_1^T を受信した際の時刻 t での入力情報の尤度を表し、本来求めるべ

$$\lambda_{tj} = \frac{Pr\{i_{tj} = 1 | Y_1^T\}}{Pr\{i_{tj} = 0 | Y_1^T\}} \quad (4)$$

【0012】BCJRアルゴリズムにおいては、次式(5)乃至次式(7)に示すような確率 α_t 、 β_t 及び γ_t を定義する。なお、 $Pr\{A:B\}$ は、 A と B とが

$$\alpha_t(m) = Pr\{S_t = m; Y_1^T\} \quad (5)$$

【0014】

$$\beta_t(m) = Pr\{Y_{t+1}^T | S_t = m\} \quad (6)$$

【0015】

ト m への遷移がある場合には、その遷移に対応する符号ビットを $x(m', m) = (x_1(m', m), x_2(m', m), \dots, x_n(m', m))$ で表す。

【0004】符号化装置101による畳み込み符号化は、ステート $S_0 = 0$ から始まり、 X_1^T を出力して $S_T = 0$ で終了するものとする。ここで、各ステート間の遷移確率 $P_t(m|m')$ を次式(1)によって定義する。

【0005】

【数1】

ート m へと遷移するときに、時刻 t での入力 i_t が i である確率 $Pr\{i_t = i\}$ と等しいものである。

【0007】

【数2】

率は、全ての t ($1 \leq t \leq T$) について、次式(3)に示すように、各シンボルの遷移確率 $Pr\{y_j | x_j\}$ を用いて定義することができる。

【0009】

【数3】

き軟出力である。

【0011】

【数4】

ともに生じる確率を表すものとする。

【0013】

【数5】

【数6】

【数7】

$$\gamma_t(m', m) = Pr \{S_t = m; y_t | S_{t-1} = m'\} \quad (7)$$

【0016】ここで、これらの確率 α_t 、 β_t 及び γ_t の内容について、符号化装置101における状態遷移図であるトレリスを図9を用いて説明する。同図において、 α_{t-1} は、符号化開始状態 $S_0=0$ から受信値をもとに時系列順に算出した時刻 $t-1$ における各ステートの通過確率に対応する。また、 β_t は、符号化終了状態 $S_T=0$ から受信値をもとに時系列の逆順に算出した時刻 t における各ステートの通過確率に対応する。

$$\lambda_{t,j} = \frac{\sum_{i \in \{m', m\}} \alpha_i(m') \gamma_i(m', m) \beta_i(m)}{\sum_{i \in \{m', m\}} \alpha_i(m') \gamma_i(m', m) \beta_i(m)} \quad (8)$$

【0019】ところで、 $t=1, 2, \dots, T$ について、次式(9)が成立する。

$$\alpha_t(m) = \sum_{m'=0}^{M-1} \alpha_{t-1}(m') \gamma_t(m', m) \quad (9)$$

ただし、 $\alpha_0(0) = 1, \alpha_0(m) = 0 (m \neq 0)$

【0021】同様に、 $t=1, 2, \dots, T$ について、次式(10)が成立する。

$$\beta_t(m) = \sum_{m'=0}^{M-1} \beta_{t+1}(m') \gamma_{t+1}(m, m') \quad (10)$$

ただし、 $\beta_T(0) = 1, \beta_T(m) = 0 (m \neq 0)$

【0023】さらに、 γ_t について、次式(11)が成立する。

$$\gamma_t(m', m) = \begin{cases} P(m | m') \cdot Pr \{y_t | x(m', m)\} \\ = Pr \{i_t = i(m', m)\} \cdot Pr \{y_t | x(m', m)\} \\ \quad : \text{入力 } i \text{ で } m' \text{ から } m \text{ へ遷移する場合} \\ 0 \quad : \text{入力 } i \text{ で } m' \text{ から } m \text{ へ遷移しない場合} \end{cases} \quad (11)$$

【0025】したがって、復号装置103は、BCJRアルゴリズムを適用して軟出力復号を行う場合には、これらの関係に基づいて、図10に示す一連の工程を経ることによって軟出力 λ_t を求める。

【0026】まず、復号装置103は、同図に示すように、ステップS101において、 y_t を受信する毎に、上式(9)及び上式(11)を用いて、確率 $\alpha_t(m)$ 及び $\gamma_t(m', m)$ を算出する。

さらに、 γ_t は、時刻 t における受信値と入力確率とをもとに算出した時刻 t にステート間を遷移する各枝の出力の受信確率に対応する。

【0017】これらの確率 α_t 、 β_t 及び γ_t を用いると、軟出力 $\lambda_{t,j}$ は、次式(8)のように表すことができる。

【0018】

【数8】

【0020】

【数9】

【0022】

【数10】

【0024】

【数11】

【0027】続いて、復号装置103は、ステップS102において、系列 Y_1^T の全てを受信した後に、上式(10)を用いて、全ての時刻 t における各ステート m について、確率 $\beta_t(m)$ を算出する。

【0028】そして、復号装置103は、ステップS103において、ステップS101及びステップS102において算出した確率 α_t 、 β_t 及び γ_t を上式(8)に代入し、各時刻 t における軟出力 λ_t を算出する。

【0029】復号装置103は、このような一連の処理を経ることにより、BCJRアルゴリズムを適用した軟出力復号を行うことができる。

【0030】ところで、このようなBCJRアルゴリズムにおいては、確率を直接値として保持して演算を行う必要があり、積演算を含むために演算量が大きいという問題があった。そこで、演算量を削減する手法として、

「Robertson, Villebrun and Hoehner, "A comparison of optimal and sub-optimal MAP decoding algorithms operating in the domain", IEEE Int. Conf. on Communications, pp. 1009-1013, June 1995」に記載されているMax-Log-MAPアルゴリズム及びLog-MAPアルゴリズム（以下、Max-Log-BCJR

$$\log(e^x \cdot e^y) = x + y$$

【0033】

$$\log(e^x + e^y) = \max(x, y)$$

【0034】ここで、記載を簡略化するため、自然対数を1と略記し、 α_t , β_t , γ_t , λ_t の自然対数値を、それぞれ、次式(14)に示すように、 $|\alpha_t|$, $|\beta_t|$, $|\gamma_t|$, $|\lambda_t|$ と表すものとする。なお、次式(14)に示すsgnは、正負を識別する符号を示す定

$$\begin{cases} |\alpha_t(m)| = \text{sgn} \cdot \log(\alpha_t(m)) \\ |\beta_t(m)| = \text{sgn} \cdot \log(\beta_t(m)) \\ |\gamma_t(m)| = \text{sgn} \cdot \log(\gamma_t(m)) \\ |\lambda_t| = \text{sgn} \cdot \log \lambda_t \end{cases}$$

【0036】このような定数sgnを与える理由としては、主に、確率 α_t , β_t , γ_t が0乃至1の値をとることから、一般に算出される対数尤度(log likelihood) $|\alpha_t|$, $|\beta_t|$, $|\gamma_t|$ が負値をとることにある。

【0037】例えば、復号装置103がソフトウェアとして構成される場合には、正負いずれの値をも処理可能であるため、定数sgnは“+1”又は“-1”のいずれであってもよいが、復号装置103がハードウェアとして構成される場合には、ビット数の削減を目的として、算出される負値の正負識別符号を反転して正值として扱う方が望ましい。

【0038】すなわち、定数sgnは、復号装置103が対数尤度として負値のみを扱う系として構成される場合には、“+1”をとり、復号装置103が対数尤度として正值のみを扱う系として構成される場合には、“-1”をとる。以下では、このような定数sgnを考慮したアルゴリズムの説明を行うものとする。

アルゴリズム及びLog-BCJRアルゴリズムと称する。)がある。

【0031】まず、Max-Log-BCJRアルゴリズムについて説明する。Max-Log-BCJRアルゴリズムは、確率 α_t , β_t 並びに γ_t 、及び軟出力 λ_t を自然対数を用いて対数表記し、次式(12)に示すように、確率の積演算を対数の和演算に置き換えるとともに、次式(13)に示すように、確率の和演算を対数の最大値演算で近似するものである。なお、次式(13)に示す $\max(x, y)$ は、 x , y のうち大きい値を有するものを選択する関数である。

【0032】

【数12】

$$(12)$$

【数13】

$$(13)$$

数、すなわち、“+1”又は“-1”のいずれかである。

【0035】

【数14】

$$(14)$$

【0039】Max-Log-BCJRアルゴリズムにおいては、これらの対数尤度 $|\alpha_t|$, $|\beta_t|$, $|\gamma_t|$ を、それぞれ、次式(15)乃至次式(17)に示すように近似する。ここで、次式(15)及び次式(16)に示すmsgn(x, y)は、定数sgnが“+1”の場合には、 x , y のうち大きい値を有するものを選択する関数 $\max(x, y)$ を示し、定数sgnが“-1”の場合には、 x , y のうち小さい値を有するものを選択する関数 $\min(x, y)$ を示すものである。次式(15)における右辺のステート m' における関数msgnは、ステート m への遷移が存在するステート m' の中で求めるものとし、次式(16)における右辺のステート m' における関数msgnは、ステート m からの遷移が存在するステート m' の中で求めるものとする。

【0040】

【数15】

$$I\alpha_t(m) = m \operatorname{sgn} \left(I\alpha_{t-1}(m') + I\gamma_t(m', m) \right) \quad (15)$$

【0041】

【数16】

$$I\beta_t(m) = m \operatorname{sgn} \left(I\beta_{t+1}(m') + I\gamma_{t+1}(m, m') \right) \quad (16)$$

【0042】

【数17】

$$I\gamma_t(m', m) = \operatorname{sgn} \cdot \left(\log \left(Pr \left\{ i_t = i(m', m) \right\} \right) + \log \left(Pr \left\{ y_t | x(m', m) \right\} \right) \right) \quad (17)$$

【0043】また、Max-Log-BCJRアルゴリズムにおいては、対数軟出力 $I\lambda_t$ についても同様に、次式(18)に示すように近似する。ここで、次式(18)における右辺第1項の関数 $m \operatorname{sgn}$ は、入力が“1”のときに状態 m への遷移が存在する状態

m' の中で求め、第2項の関数 $m \operatorname{sgn}$ は、入力が“0”のときに状態 m への遷移が存在する状態 m' の中で求めるものとする。

【0044】

【数18】

$$I\lambda_{t,j} = m \operatorname{sgn}_{\substack{m',m \\ i_j(m',m)=1}} \left(I\alpha_{t-1}(m') + I\gamma_t(m', m) + I\beta_t(m) \right) \\ - m \operatorname{sgn}_{\substack{m',m \\ i_j(m',m)=0}} \left(I\alpha_{t-1}(m') + I\gamma_t(m', m) + I\beta_t(m) \right) \quad (18)$$

【0045】したがって、復号装置103は、Max-Log-BCJRアルゴリズムを適用して軟出力復号を行う場合には、これらの関係に基づいて、図11に示す一連の工程を経ることによって軟出力 $I\lambda_t$ を求める。

【0046】まず、復号装置103は、同図に示すように、ステップS111において、 y_t を受信する毎に、上式(15)及び上式(17)を用いて、対数尤度 $I\alpha_t(m)$ 及び $I\gamma_t(m', m)$ を算出する。

【0047】続いて、復号装置103は、ステップS112において、系列 Y_1^T の全てを受信した後に、上式(16)を用いて、全ての時刻 t における各状態 m について、対数尤度 $I\beta_t(m)$ を算出する。

【0048】そして、復号装置103は、ステップS113において、ステップS111及びステップS112において算出した対数尤度 $I\alpha_t$ 、 $I\beta_t$ 及び $I\gamma_t$ を上式(18)に代入し、各時刻 t における対数軟出力 $I\lambda_t$ を算出する。

【0049】復号装置103は、このような一連の処理

$$\log(e^x + e^y) = \max(x, y) + \log(1 + e^{-|x-y|}) \quad (19)$$

【0053】ここで、上式(19)における左辺に示す演算を $\log\text{-sum}$ 演算と称するものとし、この $\log\text{-sum}$ 演算の演算子を、「S. S. Pietrobon, "Implementation and performance of a turbo/MAP decoder", Int. J. Satellite Commun., vol. 16, pp. 23-4

を経ることにより、Max-Log-BCJRアルゴリズムを適用した軟出力復号を行うことができる。

【0050】このように、Max-Log-BCJRアルゴリズムは、積演算が含まれないことから、BCJRアルゴリズムと比較して、演算量を大幅に削減することができる。

【0051】つぎに、Log-BCJRアルゴリズムについて説明する。Log-BCJRアルゴリズムは、Max-Log-BCJRアルゴリズムによる近似の精度をより向上させたものである。具体的には、Log-BCJRアルゴリズムは、上式(13)に示した確率の和演算を次式(19)に示すように補正項を追加することで変形し、和演算の正確な対数値を求めるものである。ここでは、このような補正を $\log\text{-sum}$ 補正と称するものとする。

【0052】

【数19】

6, Jan.-Feb. 1998」に記載されている記数法を踏襲し、次式(20)に示すように、便宜上“#”(ただし、同論文では、“E”)と表すものとする。

【0054】

【数20】

$$x \# y = \log(e^x + e^y) \quad (20)$$

【0055】なお、上式(19)及び上式(20)は、上述した定数 sgn が“+1”の場合を示している。定数 sgn が“-1”の場合には、上式(19)及び上式(20)に相当する演算は、それぞれ、次式(21)及

$$-\log(e^{-x} + e^{-y}) = \min(x, y) - \log(1 + e^{-|x-y|}) \quad (21)$$

【0057】

$$x \# y = -\log(e^{-x} + e^{-y}) \quad (22)$$

【0058】さらに、 $\log\text{-sum}$ 演算の累積加算演算の演算子を、次式(23)に示すように、“# Σ ”(ただし、同論文中には、“ Σ ”。)と表すものとす

$$\# \sum_{i=0}^{M-1} x_i = \left(\left(\cdots \left((x_0 \# x_1) \# x_2 \right) \cdots \right) \# x_{M-1} \right) \quad (23)$$

【0060】これらの演算子を用いると、 $\log\text{-BCJR}$ アルゴリズムにおける対数尤度 $l\alpha_t$ 、 $l\beta_t$ 及び対数軟出力 $l\lambda_t$ は、それぞれ、次式(24)乃至次式(26)に示すように表すことができる。なお、対数尤

び次式(22)に示すようになる。

【0056】

【数21】

【数22】

る。

【0059】

【数23】

度 $l\gamma_t$ は、上式(17)で表されるため、ここでは、その記述を省略する。

【0061】

【数24】

$$l\alpha_t(m) = \# \sum_{m'=0}^{M-1} \left(l\alpha_{t-1}(m') + l\gamma_t(m', m) \right) \quad (24)$$

【0062】

【数25】

$$l\beta_t(m) = \# \sum_{m'=0}^{M-1} \left(l\beta_{t+1}(m') + l\gamma_{t+1}(m, m') \right) \quad (25)$$

【0063】

【数26】

$$l\lambda_{t,j} = \# \sum_{\substack{m', m \\ i_j(m', m)=1}} \left(l\alpha_{t-1}(m') + l\gamma_t(m', m) + l\beta_t(m) \right) \\ - \# \sum_{\substack{m', m \\ i_j(m', m)=0}} \left(l\alpha_{t-1}(m') + l\gamma_t(m', m) + l\beta_t(m) \right) \quad (26)$$

【0064】なお、上式(24)における右辺のステート m' における $\log\text{-sum}$ 演算の累積加算演算は、ステート m への遷移が存在するステート m' の中で求めるものとし、上式(25)における右辺のステート m' における $\log\text{-sum}$ 演算の累積加算演算は、ステート m からの遷移が存在するステート m' の中で求めるものとする。また、上式(26)における右辺第1項の $\log\text{-sum}$ 演算の累積加算演算は、入力が“1”のときにステート m への遷移が存在するステート m' の中で求め、第2項の $\log\text{-sum}$ 演算の累積加算演算は、入力が“0”のときにステート m への遷移が存在するステート m' の中で求めるものとする。

【0065】したがって、復号装置103は、 $\log\text{-BCJR}$ アルゴリズムを適用して軟出力復号を行う場合には、これらの関係に基づいて、先に図11に示した一連の工程を経ることによって軟出力 λ_t を求めることができる。

【0066】まず、復号装置103は、同図に示すように、ステップS111において、 y_t を受信する毎に、上式(24)及び上式(17)を用いて、対数尤度 $l\alpha_t(m)$ 及び $l\gamma_t(m', m)$ を算出する。

【0067】続いて、復号装置103は、ステップS112において、系列 Y_1^T の全てを受信した後に、上式(25)を用いて、全ての時刻 t における各ステート m

について、対数尤度 $l\beta_t$ (m) を算出する。

【0068】そして、復号装置103は、ステップS113において、ステップS111及びステップS112において算出した対数尤度 $l\alpha_t$ 、 $l\beta_t$ 及び $l\gamma_t$ を上式(26)に代入し、各時刻 t における対数軟出力 $l\lambda_t$ を算出する。

【0069】復号装置103は、このような一連の処理を経ることにより、Log-BCJRアルゴリズムを適用した軟出力復号を行うことができる。なお、上式(19)及び上式(21)において、右辺第2項に示す補正項は、変数 $|x-y|$ に対する1次元の関数で表されることから、復号装置103は、この値を図示しないROM (Read Only Memory) 等にテーブルとして予め記憶させておくことにより、正確な確率計算を行うことができる。

【0070】このようなLog-BCJRアルゴリズムは、Max-Log-BCJRアルゴリズムと比較すると演算量は増えるものの積演算を含むものではなく、その出力は、量子化誤差を除けば、BCJRアルゴリズムの軟出力の対数値そのものに他ならない。

【0071】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述したBCJRアルゴリズム、Max-Log-BCJRアルゴリズム又はLog-BCJRアルゴリズムは、畳み込み符号等のトレリス符号の復号を可能とするアルゴリズムであるが、このトレリス符号を要素符号とし、複数の要素符号化器をインターリーブを介して接続することによって生成される符号の復号にも適用することができる。すなわち、BCJRアルゴリズム、Max-Log-BCJRアルゴリズム又はLog-BCJRアルゴリズムは、並列接続畳み込み符号 (Parallel Concatenated Convolutional Codes; 以下、PCCCと記す。) 又は縦列接続畳み込み符号 (Serially Concatenated Convolutional Codes; 以下、SCCCと記す。) や、これらのPCCC又はSCCCを応用して多値変調と組み合わせ、信号点の配置と誤り訂正符号の復号特性とを統括して考慮するターボ符号化変調 (Turbo Trellis Coded Modulation; 以下、TTCMと記す。) 又は縦列接続符号化変調 (Serial Concatenated Trellis Coded Modulation; 以下、SCTCMと記す。) の復号に適用することができる。

【0072】これらのPCCC、SCCC、TTCM又はSCTCMを復号する復号装置としては、BCJRアルゴリズム、Max-Log-BCJRアルゴリズム又はLog-BCJRアルゴリズムに基づく最大事後確率 (Maximum A Posteriori probability; MAP) 復号を行う要素符号と同数の復号器をインターリーブ及びデインターリーブを介して接続し、時分割多重でいわゆる繰り返し復号を行うものがある。

【0073】ここで、復号装置におけるインターリーブ

及びデインターリーブは、記憶回路に対するデータの書き込みに用いる書き込みアドレスと、記憶回路からのデータの読み出しに用いる読み出しアドレスとを発生する際には、カウンタによってカウントアップ又はカウントダウンしていくことにより、シーケンシャルなアドレスデータを発生する。このとき、インターリーブ及びデインターリーブは、書き込みアドレス用のカウンタと読み出しアドレス用のカウンタとを個別に備えることが考えられる。

【0074】しかしながら、インターリーブ及びデインターリーブは、書き込みアドレス用のカウンタと読み出しアドレス用のカウンタとを個別に備えることにより、回路規模の増大を招くといった問題を生じる。

【0075】本発明は、このような実情に鑑みてなされたものであり、回路規模の削減を図ることができるインターリーブ装置及びインターリーブ方法を提供することを目的とする。また、本発明は、回路規模の削減を図ることができるインターリーブを備え、時分割多重で繰り返し復号する復号装置及び復号方法を提供することを目的とする。

【0076】

【課題を解決するための手段】上述した目的を達成する本発明にかかるインターリーブ装置は、複数の要素符号をインターリーブを介して接続して生成された符号を時分割多重で繰り返し復号するために用いるインターリーブ装置であって、データを記憶する記憶手段と、この記憶手段に対するデータの書き込み用のアドレスデータと、記憶手段からのデータの読み出し用のアドレスデータとを発生するアドレス発生手段とを備え、アドレス発生手段は、書き込み用のアドレスデータを発生するためのカウンタと、読み出し用のアドレスデータを発生するためのカウンタとを共用することを特徴としている。

【0077】このような本発明にかかるインターリーブ装置は、書き込み用のアドレスデータと読み出し用のアドレスデータとを共用したカウンタによって発生し、記憶手段からのデータの読み出しと記憶手段に対するデータの書き込みとを同時に開始する。

【0078】また、上述した目的を達成する本発明にかかるインターリーブ方法は、複数の要素符号をインターリーブ工程を介して接続して生成された符号を時分割多重で繰り返し復号するために用いるインターリーブ方法であって、データを記憶する記憶手段に対するデータの書き込み用のアドレスデータと、記憶手段からのデータの読み出し用のアドレスデータとを発生するアドレス発生工程と、このアドレス発生工程にて発生されたアドレスデータに基づいて、記憶手段に対するデータの書き込み又は読み出しを行う記憶工程とを備え、アドレス発生工程では、書き込み用のアドレスデータを発生するためのカウンタと、読み出し用のアドレスデータを発生するためのカウンタとを共用することを特徴としている。

【0079】このような本発明にかかるインターリーブ方法は、書き込み用のアドレスデータと読み出し用のアドレスデータとを共用したカウンタによって発生し、記憶手段からのデータの読み出しと記憶手段に対するデータの書き込みとを同時に開始する。

【0080】さらに、上述した目的を達成する本発明にかかる復号装置は、軟入力とされる受信値に基づいて任意のステートを通過する確率を求め、この確率を用いて、複数の要素符号をインターリーブを介して接続して生成された符号を時分割多重で繰り返し復号する復号装置であって、受信値及び事前確率情報を入力して軟出力復号を行い、各時刻における軟出力及び／又は外部情報を生成する軟出力復号手段と、この軟出力復号手段によって生成された外部情報を入力し、インターリーブと同一の置換位置情報に基づいて、外部情報の順序を置換して並べ替える、又は、インターリーブによって並べ替えられた情報の配列を元に戻すように、外部情報の順序を置換して並べ替えるインターリーブ手段とを備え、インターリーブ手段は、データを記憶する記憶手段と、この記憶手段に対するデータの書き込み用のアドレスデータと、記憶手段からのデータの読み出し用のアドレスデータとを発生するアドレス発生手段とを有し、アドレス発生手段は、書き込み用のアドレスデータを発生するためのカウンタと、読み出し用のアドレスデータを発生するためのカウンタとを共用することを特徴としている。

【0081】このような本発明にかかる復号装置は、時分割多重で繰り返し復号を行う際に、軟出力復号して得られた外部情報をインターリーブ手段に入力し、インターリーブ手段により、書き込み用のアドレスデータと読み出し用のアドレスデータとを共用したカウンタによって発生し、記憶手段からのデータの読み出しと記憶手段に対するデータの書き込みとを同時に開始する。

【0082】さらにまた、上述した目的を達成する本発明にかかる復号方法は、軟入力とされる受信値に基づいて任意のステートを通過する確率を求め、この確率を用いて、複数の要素符号を第1のインターリーブ工程を介して接続して生成された符号を時分割多重で繰り返し復号する復号方法であって、受信値及び事前確率情報を入力して軟出力復号を行い、各時刻における軟出力及び／又は外部情報を生成する軟出力復号工程と、この軟出力復号工程にて生成された外部情報を入力し、第1のインターリーブ工程と同一の置換位置情報に基づいて、外部情報の順序を置換して並べ替える、又は、第1のインターリーブ工程にて並べ替えられた情報の配列を元に戻すように、外部情報の順序を置換して並べ替える第2のインターリーブ工程とを備え、第2のインターリーブ工程は、データを記憶する記憶手段に対するデータの書き込み用のアドレスデータと、記憶手段からのデータの読み出し用のアドレスデータとを発生するアドレス発生工程と、このアドレス発生工程にて発生されたアドレスデ

ータに基づいて、記憶手段に対するデータの書き込み又は読み出しを行う記憶工程とを有し、アドレス発生工程では、書き込み用のアドレスデータを発生するためのカウンタと、読み出し用のアドレスデータを発生するためのカウンタとを共用することを特徴としている。

【0083】このような本発明にかかる復号方法は、時分割多重で繰り返し復号を行う際に、軟出力復号して得られた外部情報を第2のインターリーブ工程にて用いるように入力し、第2のインターリーブ工程にて、書き込み用のアドレスデータと読み出し用のアドレスデータとを共用したカウンタによって発生し、記憶手段からのデータの読み出しと記憶手段に対するデータの書き込みとを同時に開始する。

【0084】

【発明の実施の形態】以下、本発明を適用した具体的な実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

【0085】この実施の形態は、図1に示すように、デジタル情報を図示しない送信装置が備える符号化装置1によって符号化し、その出力を雑音のある無記憶通信路2を介して図示しない受信装置に入力して、この受信装置が備える復号装置3によって復号する通信モデルに適用したデータ送受信システムである。

【0086】このデータ送受信システムにおいて、符号化装置1は、畳み込み符号等のトレリス符号を要素符号とする並列接続畳み込み符号(Parallel Concatenated Convolutional Codes; 以下、PCCCと記す。)又は縦列接続畳み込み符号(Serially Concatenated Convolutional Codes; 以下、SCCCと記す。)や、これらのPCCC又はSCCCを応用して多値変調と組み合わせたターボ符号化変調(Turbo Trellis Coded Modulation; 以下、TTCMと記す。)又は縦列接続符号化変調(Serial Concatenated Trellis Coded Modulation; 以下、SCTCMと記す。)を行うものとして構成される。これらの符号化は、いわゆるターボ符号化(Turbo coding)の一種として知られているものである。

【0087】一方、復号装置3は、符号化装置1によって符号化がなされた符号の復号を行うものであって、

「Robertson, Villebrun and Hoehner, "A comparison of optimal and sub-optimal MAP decoding algorithms operating in the domain", IEEE Int. Conf. on Communications, pp. 1009-1013, June 1995」に記載されているMax-Log-MAPアルゴリズム又はLog-MAPアルゴリズム(以下、Max-Log-BJRアルゴリズム又はLog-BJRアルゴリズムと称する。)に基づく最大事後確率(Maximum A Posteriori probability; 以下、MAPと記す。)復号を行い、いわゆる確率 α 、 β 、 γ 、及び軟出力(soft-output) λ を自然対数を用いて対数尤度(log likelihood)の形式で対数表記した対数尤度 $\ln \alpha$ 、 $\ln \beta$ 、 $\ln \gamma$ 、及びいわゆる

事後確率情報 (a posteriori probability information) に対応する対数軟出力 λ を求める複数の軟出力復号回路を、入力したデータを並べ替えるインターリーバ及びデインターリーバを介して接続し、時分割多重で繰り返し復号を行うものとして構成される。

【0088】特に、復号装置3は、インターリーバ及びデインターリーバにより、書き込み用のアドレスデータと読み出し用のアドレスデータとを発生するカウンタを共用するものである。

【0089】なお、以下では、復号装置3における各軟出力復号回路は、Log-BCJRアルゴリズムに基づくMAP復号を行うものとして説明する。

【0090】まず、符号化装置1及び復号装置3の具体例として、PCCCによる符号化を行う符号化装置1'と、この符号化装置1'による符号の復号を行う復号装置3'について説明する。

【0091】符号化装置1'としては、図2に示すように、入力したデータを遅延させる遅延器11と、畳み込み演算を行う2つの畳み込み符号化器12、14と、入力したデータの順序を並べ替えるインターリーバ13とを備えるものがある。この符号化装置1'は、入力した1ビットの入力データD1に対して、符号化率が“1/3”の並列接続畳み込み演算を行い、3ビットの出力データD4、D5、D6を生成し、例えば2相位相 (Binary Phase Shift Keying; 以下、BPSKと記す。) 変調方式や4相位相 (Quadrature Phase Shift Keying; 以下、QPSKと記す。) 変調方式による変調を行う図示しない変調器を介して外部に出力する。

【0092】遅延器11は、3ビットの出力データD4、D5、D6が出力されるタイミングを合わせるために備えられるものであって、1ビットの入力データD1を入力すると、この入力データD1をインターリーバ13が要する処理時間と同時間だけ遅延させる。遅延器11は、遅延させて得られた遅延データD2を、出力データD4として外部に出力するとともに、後段の畳み込み符号化器12に供給する。

【0093】畳み込み符号化器12は、遅延器11から出力された1ビットの遅延データD2を入力すると、この遅延データD2に対して畳み込み演算を行い、演算結果を出力データD5として外部に出力する。

【0094】インターリーバ13は、1つのビット系列からなる入力データD1を入力し、この入力データD1を構成する各ビットの順序を並べ替え、生成したインターリーブデータD3を後段の畳み込み符号化器14に供給する。

【0095】畳み込み符号化器14は、インターリーバ13から供給される1ビットのインターリーブデータD3を入力すると、このインターリーブデータD3に対して畳み込み演算を行い、演算結果を出力データD6として外部に出力する。

【0096】このような符号化装置1'は、1ビットの入力データD1を入力すると、この入力データD1を組織成分の出力データD4として、遅延器11を介してそのまま外部に出力するとともに、畳み込み符号化器12による遅延データD2の畳み込み演算の結果得られる出力データD5と、畳み込み符号化器14によるインターリーブデータD3の畳み込み演算の結果得られる出力データD6とを外部に出力することにより、全体として、符号化率が“1/3”の並列接続畳み込み演算を行う。この符号化装置1'によって符号化されたデータは、図示しない変調器によって所定の変調方式に基づいて信号点のマッピングが行われ、無記憶通信路2を介して受信装置に出力される。

【0097】一方、符号化装置1'による符号の復号を行う復号装置3'としては、図3に示すように、軟出力復号を行う2つの軟出力復号回路15、17と、入力したデータの順序を並べ替えるインターリーバ16と、入力したデータの順序を元に戻す2つのデインターリーバ18、20と、2つのデータを加算する加算器19とを備えるものがある。この復号装置3'は、無記憶通信路2上で発生したノイズの影響によって軟入力 (soft-input) とされる受信値D7から符号化装置1'における入力データD1を推定し、復号データD13として出力する。

【0098】軟出力復号回路15は、符号化装置1'における畳み込み符号化器12に対応して備えられるものであり、Log-BCJRに基づくMAP復号を行う。軟出力復号回路15は、軟入力の受信値D7を入力するとともに、デインターリーバ18から出力された軟入力の情報ビットに対する事前確率情報 (a priori probability information) D8を入力し、これらの受信値D7と事前確率情報D8とを用いて、軟出力復号を行う。そして、軟出力復号回路15は、符号の拘束条件によって求められる情報ビットに対する外部情報 (extrinsic information) D9を生成し、この外部情報D9を後段のインターリーバ16に軟出力として出力する。

【0099】インターリーバ16は、軟出力復号回路15から出力された軟入力である情報ビットに対する外部情報D9に対して、符号化装置1'におけるインターリーバ13と同一の置換位置情報に基づいたインターリーブを施す。インターリーバ16は、インターリーブして得られたデータを後段の軟出力復号回路17における情報ビットに対する事前確率情報D10として出力するとともに、後段の加算器19に出力する。

【0100】軟出力復号回路17は、符号化装置1'における畳み込み符号化器14に対応して備えられるものであり、軟出力復号回路15と同様に、Log-BCJRアルゴリズムに基づくMAP復号を行う。軟出力復号回路17は、軟入力の受信値D7を入力するとともに、インターリーバ16から出力された軟入力の情報ビット

に対する事前確率情報D10を入力し、これらの受信値D7と事前確率情報D10とを用いて、軟出力復号を行う。そして、軟出力復号回路17は、符号の拘束条件によって求められる情報ビットに対する外部情報D11を生成し、この外部情報D11をデインターリーブ18に軟出力として出力するとともに、加算器19に出力する。

【0101】デインターリーブ18は、符号化装置1'におけるインターリーブ13によってインターリーブされたインターリーブデータD3のビット配列を、元の入力データD1のビット配列に戻すように、軟出力復号回路17から出力される軟出力の外部情報D11にデインターリーブを施す。デインターリーブ18は、デインターリーブして得られたデータを軟出力復号回路15における情報ビットに対する事前確率情報D8として出力する。

【0102】加算器19は、インターリーブ16から出力された軟出力の情報ビットに対する事前確率情報D10と、軟出力復号回路17から出力された情報ビットに対する外部情報D11とを加算する。加算器19は、得られたデータD12を後段のデインターリーブ20に軟出力として出力する。

【0103】デインターリーブ20は、符号化装置1'におけるインターリーブ13によってインターリーブされたインターリーブデータD3のビット配列を、元の入力データD1のビット配列に戻すように、加算器19から出力される軟出力のデータD12にデインターリーブを施す。デインターリーブ20は、デインターリーブして得られたデータを復号データD13として外部に出力する。

【0104】このような復号装置3'は、符号化装置1'における畳み込み符号化器12、14のそれぞれに対応する軟出力復号回路15、17を備えることにより、復号複雑度が高い符号を複雑度の小さい要素に分解し、軟出力復号回路15、17の間の相互作用によって特性を逐次的に向上させることができる。復号装置3'は、受信値D7を受信すると、時分割多重で所定の繰返し回数での繰返し復号を行い、この復号動作の結果得られた軟出力の外部情報に基づいて、復号データD13を出力する。

【0105】なお、TTCMによる符号化を行う符号化装置は、符号化装置1'の最終段に、例えば8相位相(8-Phase Shift Keying; 以下、8PSKと記す。)変調方式による変調を行う変調器を備えることによって実現することができる。また、TTCMによる符号の復号を行う復号装置は、復号装置3'と同様の構成で実現することができ、受信値として、同相成分及び直交成分のシンボルを直接入力することになる。

【0106】つぎに、符号化装置1及び復号装置3の他の具体例として、SCCCによる符号化を行う符号化装

置1'と、この符号化装置1'による符号の復号を行う復号装置3'について説明する。

【0107】符号化装置1'としては、図4に示すように、外符号と呼ばれる符号の符号化を行う畳み込み符号化器31と、入力したデータの順序を並べ替えるインターリーブ32と、内符号と呼ばれる符号の符号化を行う畳み込み符号化器33とを備えるものがある。この符号化装置1'は、入力した1ビットの入力データD21に対して、符号化率が $1/3$ の縦列接続畳み込み演算を行い、3ビットの出力データD26、D27、D28を生成し、例えばBPSK変調方式やQPSK変調方式による変調を行う図示しない変調器を介して外部に出力する。

【0108】畳み込み符号化器31は、1ビットの入力データD21を入力すると、この入力データD21に対して畳み込み演算を行い、演算結果を2ビットの符号化データD22、D23として後段のインターリーブ32に供給する。すなわち、畳み込み符号化器31は、外符号の符号化として符号化率が $1/2$ の畳み込み演算を行い、生成した符号化データD22、D23を後段のインターリーブ32に供給する。

【0109】インターリーブ32は、畳み込み符号化器31から供給された2つのビット系列からなる符号化データD22、D23を入力し、これらの符号化データD22、D23を構成する各ビットの順序を並べ替え、生成した2つのビット系列からなるインターリーブデータD24、D25を後段の畳み込み符号化器33に供給する。

【0110】畳み込み符号化器33は、インターリーブ32から供給される2ビットのインターリーブデータD24、D25を入力すると、これらのインターリーブデータD24、D25に対して畳み込み演算を行い、演算結果を3ビットの出力データD26、D27、D28として外部に出力する。すなわち、畳み込み符号化器33は、内符号の符号化として符号化率が $2/3$ の畳み込み演算を行い、出力データD26、D27、D28を外部に出力する。

【0111】このような符号化装置1'は、畳み込み符号化器31によって外符号の符号化として符号化率が $1/2$ の畳み込み演算を行い、畳み込み符号化器33によって内符号の符号化として符号化率が $2/3$ の畳み込み演算を行うことにより、全体として、符号化率が $(1/2) \times (2/3) = 1/3$ の縦列接続畳み込み演算を行う。この符号化装置1'によって符号化されたデータは、図示しない変調器によって所定の変調方式に基づいて信号点のマッピングが行われ、無記憶通信路2を介して受信装置に出力される。

【0112】一方、符号化装置1'による符号の復号を行う復号装置3'としては、図5に示すように、軟出力復号を行う2つの軟出力復号回路34、36と、入

力したデータの順序を元に戻すデインターリーブ35と、入力したデータの順序を並べ替えるインターリーブ37とを備えるものがある。この復号装置3'は、無記憶通信路2上で発生したノイズの影響によって軟入力とされる受信値D29から符号化装置1'における入力データD21を推定し、復号データD36として出力する。

【0113】軟出力復号回路34は、符号化装置1'における畳み込み符号化器33に対応して備えられるものであり、Log-BCJRに基づくMAP復号を行う。軟出力復号回路34は、軟入力の受信値D29を入力するとともに、インターリーブ37から出力された軟入力の情報ビットに対する事前確率情報D30を入力し、これらの受信値D29と事前確率情報D30を用いて、Log-BCJRアルゴリズムに基づくMAP復号を行い、内符号の軟出力復号を行う。そして、軟出力復号回路34は、符号の拘束条件によって求められる情報ビットに対する外部情報D31を生成し、この外部情報D31を後段のデインターリーブ35に軟出力として出力する。なお、この外部情報D31は、符号化装置1'におけるインターリーブ32によってインターリーブされたインターリーブデータD24、D25に対応するものである。

【0114】デインターリーブ35は、符号化装置1'におけるインターリーブ32によってインターリーブされたインターリーブデータD24、D25のビット配列を、それぞれ、元の符号化データD22、D23のビット配列に戻すように、軟出力復号回路34から出力される軟入力の外部情報D31にデインターリーブを施す。デインターリーブ35は、デインターリーブして得られたデータを後段の軟出力復号回路36における符号ビットに対する事前確率情報D32として出力する。

【0115】軟出力復号回路36は、符号化装置1'における畳み込み符号化器31に対応して備えられるものであり、Log-BCJRに基づくMAP復号を行う。軟出力復号回路36は、デインターリーブ35から出力された軟入力の符号ビットに対する事前確率情報D32を入力するとともに、値が“0”である情報ビットに対する事前確率情報D33を入力し、これらの事前確率情報D32、D33を用いて、Log-BCJRアルゴリズムに基づくMAP復号を行い、外符号の軟出力復号を行う。軟出力復号回路36は、符号の拘束条件によって求められる外部情報D34、D35を生成し、外部情報D34を復号データD36として外部に出力するとともに、外部情報D35をインターリーブ37に軟出力として出力する。

【0116】インターリーブ37は、軟出力復号回路36から出力された軟入力である符号ビットに対する外部情報D35に対して、符号化装置1'におけるインターリーブ32と同一の置換位置情報に基づいたインター

リーブを施す。インターリーブ37は、インターリーブして得られたデータを軟出力復号回路34における情報ビットに対する事前確率情報D30として出力する。

【0117】このような復号装置3'は、符号化装置1'における畳み込み符号化器31、33のそれぞれに対応する軟出力復号回路36、34を備えることにより、復号装置3'と同様に、復号複雑度が高い符号を複雑度の小さい要素に分解し、軟出力復号回路34、36の間の相互作用によって特性を逐次的に向上させることができる。復号装置3'は、受信値D29を受信すると、時分割多重で所定の繰り返し回数での繰り返し復号を行い、この復号動作の結果得られた軟出力の外部情報に基づいて、復号データD36を出力する。

【0118】なお、SCTCMによる符号化を行う符号化装置は、符号化装置1'の最終段に、例えば8PSK変調方式による変調を行う変調器を備えることによって実現することができる。また、SCTCMによる符号の復号を行う復号装置は、復号装置3'と同様の構成で実現することができ、受信値として、同相成分及び直交成分のシンボルを直接入力することになる。

【0119】さて、上述した復号装置3'におけるインターリーブ16及びデインターリーブ18や、復号装置3'におけるデインターリーブ35及びインターリーブ37は、通常、例えばRAM(Random Access Memory)等の図示しない記憶回路を有し、この記憶回路を用いてデータの置換を行う。以下では、これらのインターリーブ16及びデインターリーブ18、又は、デインターリーブ35及びインターリーブ37における記憶回路に対する書き込みアドレスと読み出しアドレスとの発生について説明する。ここで、デインターリーブは、インターリーブと逆の置換位置情報に基づいてデータを並べ替えるものであることから、インターリーブの1形態として擬制することができる。そこで、以下では、特に区別を要しない場合には、インターリーブ及びデインターリーブの両者をインターリーブ50と称して説明する。また、インターリーブ50は、データの書き込み用の記憶回路とデータの読み出し用の記憶回路といったように、恰もバンクA、Bからなる2つの記憶回路を有するように構成されるものとする。

【0120】インターリーブ50は、記憶回路に対する書き込みアドレスと読み出しアドレスとを発生するここでは図示しないアドレス発生回路を有し、このアドレス発生回路におけるカウンタにより、例えば0、1、2、3、・・・といったようにカウントアップ、又は、・・・、3、2、1、0といったようにカウントダウンしていくことによってシーケンシャルなアドレスデータを発生する。

【0121】ここで、復号装置は、時分割多重で繰り返し復号を行う場合には、受信値を遅延させる必要がないことに着目する。すなわち、復号装置は、時分割多重で

繰り返し復号を行う場合には、インターリーバ50により、受信値を遅延させる必要がなく、外部情報にインターリーブ又はデインターリーブを施すのみでよい。そのため、復号装置は、外部から入力される受信値を構成するフレームの入力タイミングが変化する場合であっても、全ての受信値の遅延量を合わせる必要がない。

【0122】そこで、インターリーバ50は、記憶回路に対する書き込みアドレス用のカウンタと読み出しアドレス用のカウンタとを共用する。

【0123】具体的には、インターリーバ50は、例えば図6に示すように、置換先のアドレスデータを保持するアドレス用記憶回路51と、シーケンシャルなアドレスデータを発生するアドレス発生回路52と、記憶回路53とを有するものとして構成される。

【0124】アドレス用記憶回路51は、当該インターリーバ50によるインターリーブの際に参照されるデータの置換位置情報をアドレスデータとして保持する。このアドレス用記憶回路51に保持されているアドレスデータは、当該インターリーバ50によって当該アドレス用記憶回路51のアドレスがアドレスデータ1Aとして指定されることにより、ランダムなアドレスデータDAとして読み出される。なお、アドレス用記憶回路51は、インターリーバ50の外部に備えるようにしてもよい。

【0125】アドレス発生回路52は、記憶回路53に対するデータの書き込み及び／または読み出しを制御するものであって、フレームの先頭を示すインターリーブ開始位置信号SSを入力すると、インターリーブの際に用いる書き込みアドレスと読み出しアドレスとを発生する。このとき、アドレス発生回路52は、図示しないカウンタによってカウントアップしていくことにより、シーケンシャルなアドレスデータ1Aを発生するが、書き込みアドレス用のカウンタと、読み出しアドレス用のカウンタとは、共用されるものである。アドレス発生回路52は、発生したシーケンシャルなアドレスデータ1Aをアドレス用記憶回路51及び記憶回路53に供給する。

【0126】なお、アドレス発生回路52によって発生されたシーケンシャルなアドレスデータ1Aは、当該インターリーバ50がインターリーブを行うものである場合には、記憶回路53に対するデータの書き込み用いるアドレスデータとなるとともに、記憶回路53からのデータの読み出しに用いるランダムなアドレスデータをアドレス用記憶回路51から読み出すためのアドレスデータとなる。一方、アドレスデータ1Aは、当該インターリーバ50がデインターリーブを行うものである場合には、記憶回路53からのデータの読み出しに用いるアドレスデータとなるとともに、記憶回路53に対するデータの書き込み用いるランダムなアドレスデータをアドレス用記憶回路51から読み出すためのアドレスデータ

となる。

【0127】記憶回路53は、当該インターリーバ50がインターリーブを行うものである場合には、アドレス発生回路52から供給されるアドレスデータ1Aによって指定されたアドレスに対して、上述した外部情報D9、D35に相当する外部情報EXを書き込み、記憶する。そして、記憶回路53は、アドレス用記憶回路51から供給されるアドレスデータDAによって指定されたアドレスから、記憶しているデータを読み出し、データDDとして出力する。このデータDDは、上述した事前確率情報D10、D30に相当するものである。また、記憶回路53は、当該インターリーバ50がデインターリーブを行うものである場合には、アドレス用記憶回路51から供給されるアドレスデータDAによって指定されたアドレスに対して、上述した外部情報D11、D31に相当する外部情報EXを書き込み、記憶する。そして、記憶回路53は、アドレス発生回路52から供給されるアドレスデータ1Aによって指定されたアドレスから、記憶しているデータを読み出し、データDDとして出力する。このデータDDは、上述した事前確率情報D8、D32に相当するものである。

【0128】このようなインターリーバ50は、例えば図7に示すように、バンクA、Bからなる記憶回路53に対してデータを書き込むとともに、記憶回路53からデータを読み出すことにより、インターリーブ又はデインターリーブを施す。

【0129】まず、インターリーバ50は、同図に示すように、aで示すインターリーブ開始位置信号SSが入力されると、アドレス発生回路52におけるカウンタをカウントアップ又はカウントダウンし、このカウンタによるアドレスデータ1Aに基づいて、バンクAの記憶回路53に対するデータの書き込みを行う。続いて、インターリーバ50は、bで示す次のインターリーブ開始位置信号SSが入力されると、アドレス発生回路52におけるカウンタをカウントアップ又はカウントダウンし、このカウンタによるアドレスデータ1Aに基づいて、バンクAの記憶回路53に記憶されているデータの読み出しを行うとともに、バンクBの記憶回路53に対するデータの書き込みを行う。同様に、インターリーバ50は、cで示す次のインターリーブ開始位置信号SSが入力されると、アドレス発生回路52におけるカウンタをカウントアップ又はカウントダウンし、このカウンタによるアドレスデータ1Aに基づいて、バンクBの記憶回路53に記憶されているデータの読み出しを行うとともに、バンクAの記憶回路53に対するデータの書き込みを行う。

【0130】このように、インターリーバ50は、書き込みアドレス用のカウンタと読み出しアドレス用のカウンタとを共用することにより、記憶回路53に対する次のフレームの書き込みの開始と同時に、記憶回路53か

らのデータの読み出しを開始することができる。このようにすることにより、復号装置3は、a, bで示す2つのインターリーブ開始位置信号SSの間の時間と、b, cで示す2つのインターリーブ開始位置信号SSの間の時間とが異なる場合であっても、なんら支障なく時分割多重での繰り返し復号を行うことができる。したがって、復号装置3は、書き込みアドレス用のカウンタと読み出しアドレス用のカウンタとを個別に備える必要がなく、回路規模の削減を図ることができる。

【0131】以上説明したように、符号化装置1と復号装置3とを用いて構成されるデータ送受信システムにおいて、復号装置3は、インターリーブ及びデインターリーブのそれぞれにより、書き込み用のアドレスデータと読み出し用のアドレスデータとを発生するカウンタを共用し、記憶回路に対する次のフレームの書き込みの開始と同時に、記憶回路からのデータの読み出しを開始することにより、書き込み用のアドレスデータを発生するカウンタと読み出し用のアドレスデータを発生するカウンタとを個別に備える必要がなく、回路規模を削減することができる。

【0132】なお、本発明は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、例えば、上述した実施の形態では、復号装置として、Log-BCJRアルゴリズムに基づくMAP復号を行うものとして説明したが、本発明は、Max-Log-BCJRアルゴリズム、又は、

「Bahl, Cocke, Jelinek and Raviv, "Optimal decoding of linear codes for minimizing symbol error rate", IEEE Trans. Inf. Theory, vol. IT-20, pp. 284-287, Mar. 1974」に記載されているBCJRアルゴリズムに基づくMAP復号を行う復号装置であっても適用可能である。

【0133】また、上述した実施の形態では、符号化装置及び復号装置をデータ送受信システムにおける送信装置及び受信装置に適用して説明したが、本発明は、例えばフロッピー（登録商標）ディスク、CD-ROM又はMO（Magneto Optical）といった磁気、光又は光磁気ディスク等の記録媒体に対する記録及び／又は再生を行う記録及び／又は再生装置に適用することもできる。この場合、符号化装置によって符号化されたデータは、無記憶通信路に等価とされる記録媒体に記録され、復号装置によって復号されて再生される。

【0134】以上のように、本発明は、その趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更が可能であることはいうまでもない。

【0135】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明にかかるインターリーブ装置は、複数の要素符号をインターリーブを介して接続して生成された符号を時分割多重で繰り返し復号するために用いるインターリーブ装置であって、データを記憶する記憶手段と、この記憶手段に対

するデータの書き込み用のアドレスデータと、記憶手段からのデータの読み出し用のアドレスデータとを発生するアドレス発生手段とを備え、アドレス発生手段は、書き込み用のアドレスデータを発生するためのカウンタと、読み出し用のアドレスデータを発生するためのカウンタとを共用する。

【0136】したがって、本発明にかかるインターリーブ装置は、書き込み用のアドレスデータと読み出し用のアドレスデータとを共用したカウンタによって発生し、記憶手段からのデータの読み出しと記憶手段に対するデータの書き込みとを同時に開始することにより、書き込み用のアドレスデータを発生するためのカウンタと、読み出し用のアドレスデータを発生するためのカウンタとを、個別に備える必要がなく、回路規模を削減することができる。

【0137】また、本発明にかかるインターリーブ方法は、複数の要素符号をインターリーブ工程を介して接続して生成された符号を時分割多重で繰り返し復号するために用いるインターリーブ方法であって、データを記憶する記憶手段に対するデータの書き込み用のアドレスデータと、記憶手段からのデータの読み出し用のアドレスデータとを発生するアドレス発生工程と、このアドレス発生工程にて発生されたアドレスデータに基づいて、記憶手段に対するデータの書き込み又は読み出しを行う記憶工程とを備え、アドレス発生工程では、書き込み用のアドレスデータを発生するためのカウンタと、読み出し用のアドレスデータを発生するためのカウンタとを共用する。

【0138】したがって、本発明にかかるインターリーブ方法は、書き込み用のアドレスデータと読み出し用のアドレスデータとを共用したカウンタによって発生し、記憶手段からのデータの読み出しと記憶手段に対するデータの書き込みとを同時に開始することにより、書き込み用のアドレスデータを発生するためのカウンタと、読み出し用のアドレスデータを発生するためのカウンタとを、個別に備える必要がなく、回路規模を削減することが可能となる。

【0139】さらに、本発明にかかる復号装置は、軟入力とされる受信値に基づいて任意のステートを通過する確率を求め、この確率を用いて、複数の要素符号をインターリーブを介して接続して生成された符号を時分割多重で繰り返し復号する復号装置であって、受信値及び事前確率情報を入力して軟出力復号を行い、各時刻における軟出力及び／又は外部情報を生成する軟出力復号手段と、この軟出力復号手段によって生成された外部情報を入力し、インターリーブと同一の置換位置情報に基づいて、外部情報の順序を置換して並べ替える、又は、インターリーブによって並べ替えられた情報の配列を元に戻すように、外部情報の順序を置換して並べ替えるインターリーブ手段とを備え、インターリーブ手段は、データ

を記憶する記憶手段と、この記憶手段に対するデータの書き込み用のアドレスデータと、記憶手段からのデータの読み出し用のアドレスデータとを発生するアドレス発生手段とを有し、アドレス発生手段は、書き込み用のアドレスデータを発生するためのカウンタと、読み出し用のアドレスデータを発生するためのカウンタとを共用する。

【0140】したがって、本発明にかかる復号装置は、時分割多重で繰り返し復号を行う際に、軟出力復号して得られた外部情報をインターリーブ手段に入力し、インターリーブ手段により、書き込み用のアドレスデータと読み出し用のアドレスデータとを共用したカウンタによって発生し、記憶手段からのデータの読み出しと記憶手段に対するデータの書き込みとを同時に開始することにより、書き込み用のアドレスデータを発生するためのカウンタと、読み出し用のアドレスデータを発生するためのカウンタとを、個別に備える必要がなく、回路規模を削減することができる。

【0141】さらにまた、本発明にかかる復号方法は、軟入力とされる受信値に基づいて任意のステートを通過する確率を求め、この確率を用いて、複数の要素符号を第1のインターリーブ工程を介して接続して生成された符号を時分割多重で繰り返し復号する復号方法であって、受信値及び事前確率情報を入力して軟出力復号を行い、各時刻における軟出力及び／又は外部情報を生成する軟出力復号工程と、この軟出力復号工程にて生成された外部情報を入力し、第1のインターリーブ工程と同一の置換位置情報に基づいて、外部情報の順序を置換して並べ替える、又は、第1のインターリーブ工程にて並べ替えられた情報の配列を元に戻すように、外部情報の順序を置換して並べ替える第2のインターリーブ工程とを備え、第2のインターリーブ工程は、データを記憶する記憶手段に対するデータの書き込み用のアドレスデータと、記憶手段からのデータの読み出し用のアドレスデータとを発生するアドレス発生工程と、このアドレス発生工程にて発生されたアドレスデータに基づいて、記憶手段に対するデータの書き込み又は読み出しを行う記憶工程とを有し、アドレス発生工程では、書き込み用のアドレスデータを発生するためのカウンタと、読み出し用のアドレスデータを発生するためのカウンタとを共用する。

【0142】したがって、本発明にかかる復号方法は、時分割多重で繰り返し復号を行う際に、軟出力復号して得られた外部情報を第2のインターリーブ工程にて用いるように入力し、第2のインターリーブ工程にて、書き込み用のアドレスデータと読み出し用のアドレスデータとを共用したカウンタによって発生し、記憶手段からの

データの読み出しと記憶手段に対するデータの書き込みとを同時に開始することにより、書き込み用のアドレスデータを発生するためのカウンタと、読み出し用のアドレスデータを発生するためのカウンタとを、個別に備える必要がなく、回路規模を削減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態として示すデータ送受信システムを適用する通信モデルの構成を説明するブロック図である。

【図2】同データ送受信システムにおける符号化装置の一例の構成を説明するブロック図であって、PCCCによる符号化を行う符号化装置の構成を説明するブロック図である。

【図3】同データ送受信システムにおける復号装置の一例の構成を説明するブロック図であって、図2に示す符号化装置による符号の復号を行う復号装置の構成を説明するブロック図である。

【図4】同データ送受信システムにおける符号化装置の一例の構成を説明するブロック図であって、SCCCによる符号化を行う符号化装置の構成を説明するブロック図である。

【図5】同データ送受信システムにおける復号装置の一例の構成を説明するブロック図であって、図4に示す符号化装置による符号の復号を行う復号装置の構成を説明するブロック図である。

【図6】同データ送受信システムにおける復号装置が備えるインターリーバ及びデインターリーバを総称したインターリーバの構成を説明するブロック図である。

【図7】同インターリーバにおけるデータの書き込みと読み出しのタイミングを説明する図である。

【図8】通信モデルの構成を説明するブロック図である。

【図9】従来の符号化装置におけるトレリスを説明する図であって、確率 α 、 β 及び γ の内容を説明するための図である。

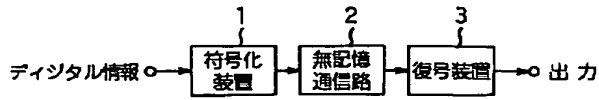
【図10】従来の復号装置において、BCJRアルゴリズムを適用して軟出力復号を行う際の一連の工程を説明するフローチャートである。

【図11】従来の復号装置において、Max-Log-BCJRアルゴリズムを適用して軟出力復号を行う際の一連の工程を説明するフローチャートである。

【符号の説明】

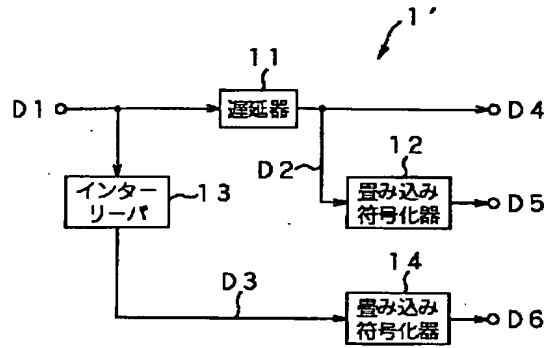
1, 1', 1'' 符号化装置、 3, 3', 3'' 復号装置、 15, 17, 34, 36 軟出力復号回路、 16, 37, 50 インターリーバ、 18, 20, 35 デインターリーバ、 51 アドレス用記憶回路、 52 アドレス発生回路、 53 記憶回路

【図1】



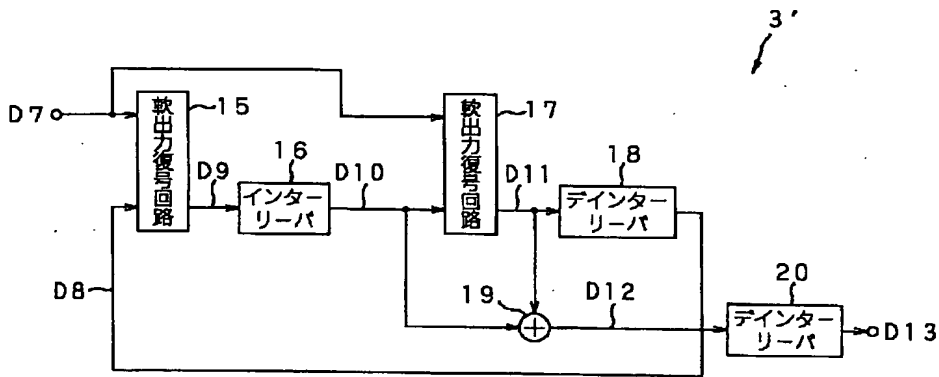
通信モデルの構成ブロック図

【図2】



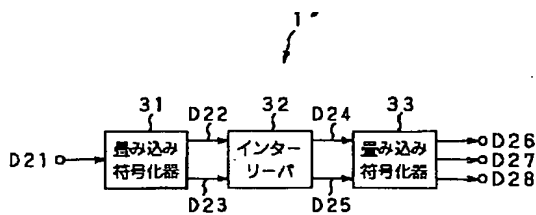
符号化装置の構成ブロック図

【図3】



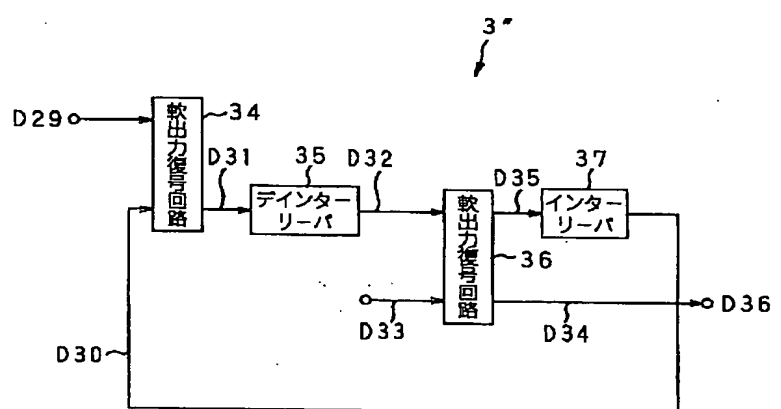
復号装置の構成ブロック図

【図4】



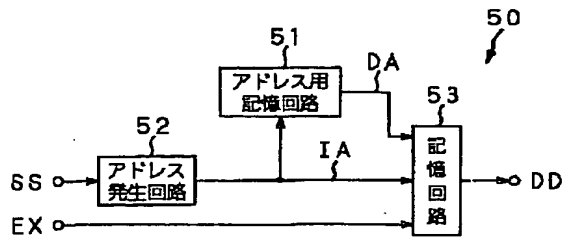
符号化装置の構成ブロック図

【図5】



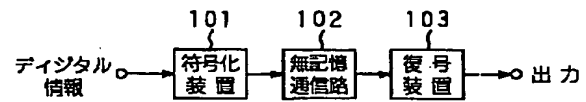
復号装置の構成ブロック図

【図6】



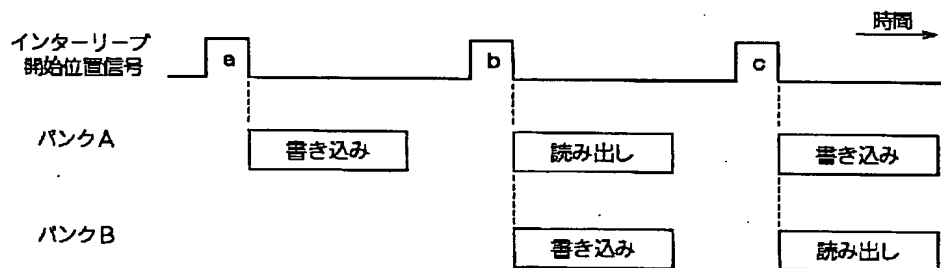
インターリーブの構成ブロック図

【図8】



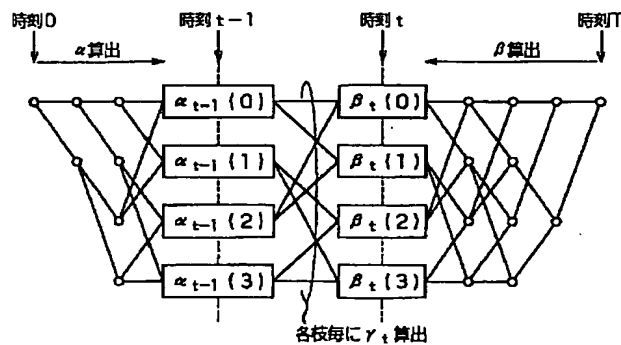
通信モデルの構成ブロック図

【図7】



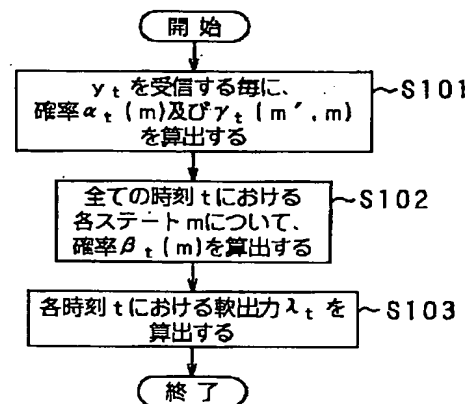
データの書き込みと読み出しのタイミング

【図9】



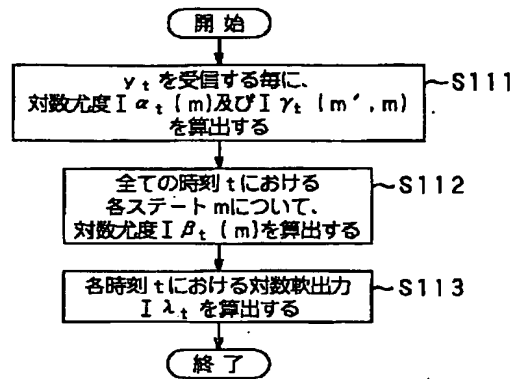
トレリスの説明図

【図10】



復号装置における一連の処理工程

【図11】



復号装置における一連の処理工程